



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 198 13 220 A 1**

51 Int. Cl.⁶:
F 25 B 1/00
F 25 B 31/00

21 Aktenzeichen: 198 13 220.4
22 Anmeldetag: 26. 3. 98
43 Offenlegungstag: 30. 9. 99

DE 198 13 220 A 1

71 Anmelder:
Technische Universität Dresden, 01069 Dresden, DE
74 Vertreter:
Sender, F., Dipl.-Ing., 01069 Dresden

72 Erfinder:
Quack, Hans, Prof. Dr.sc.techn., 01069 Dresden, DE;
Heyl, Peter, Dipl.-Ing., 15232 Frankfurt, DE; Probst,
Joachim, Dipl.-Ing., 37441 Bad Sachsa, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

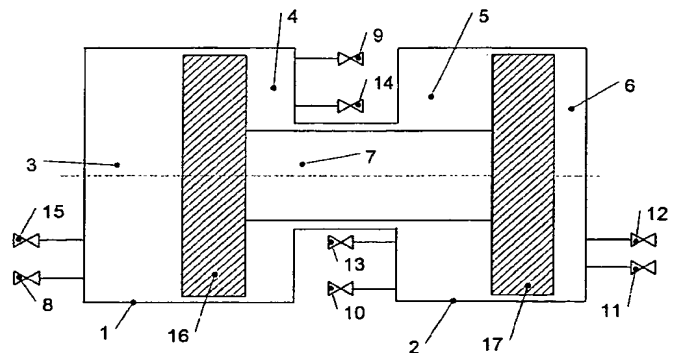
Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Kolbenexpansionsmaschine und Verfahren zur Einbindung dieser Maschine in einen transkritischen Kompressionskälteprozeß

57 Die Erfindung betrifft die Vorrichtung und den Einsatz einer Kolbenexpansionsmaschine in einem transkritischen Kompressionskälteprozeß in der Kälte-, Klima- und Wärmepumpentechnik.

Die Erfindung besteht aus einer Kolbenexpansionsmaschine, die als Freikolbenmaschine ausgeführt ist und in einem transkritischen Prozeß mit beispielsweise dem Kältemittel Kohlendioxid eingesetzt wird, wobei die Arbeit leistende Entspannung mit der Kompression des Kältemittels gekoppelt ist. Die Maschine besteht aus zwei doppelt wirkenden Kolben, welche mittels einer Kolbenstange miteinander verbunden sind. Es entstehen vier Arbeitsräume in zwei Zylindern, die in zwei Kompressions- bzw. Expansionsräume aufgeteilt werden. Jeder Kolben teilt einen Zylinder in einen Expansions- und einen Kompressionsraum.

Die Kolbenexpansionsmaschine wird in einem transkritischen Kälte-, Klima- oder Wärmepumpenprozeß eingebunden und kommt ohne einen zusätzlichen Energiespeicher aus.



DE 198 13 220 A 1

Die Erfindung betrifft die Vorrichtung und den Einsatz einer Kolbenexpansionsmaschine in einem transkritischen Kompressionskälteprozeß in der Kälte-, Klima- und Wärmepumpentechnik.

Die Erfindung bezieht sich weiterhin auf den Einsatz des Kältemittels Kohlendioxid in einem transkritischen Prozeß, insbesondere bei Anwendungen mit einer Austrittstemperatur des Kältemittels aus dem Hochdruckwärmeübertrager im Bereich von 20 bis 45°C.

Die Entdeckung über den potentiellen Angriff chlorhaltiger Kältemittel auf das Ozon in der Stratosphäre führte dazu, daß die wichtigsten Kältemittel der Kälte-, Klima- und Wärmepumpentechnik, die Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW), verboten wurden.

Die daraus resultierende Ersatzkältemitteldiskussion zeigt verschiedene Lösungen auf, von denen der Einsatz der natürlichen Kältemittel als die ökologisch sinnvollste erscheint. Energetische, sicherheitstechnische oder thermodynamische Eigenschaften schränken jedoch den breiten Einsatz dieser umweltschonenden Kältemittel wie Kohlendioxid, Ammoniak, Wasser und Luft ein.

Ausgehend von diesem Kältemitteln ist CO₂ der einzige sicherheitstechnisch unbedenkliche und thermodynamisch geeignete Stoff für den Einsatz in Kompressionskältemaschinen.

Der Prozeß unterscheidet sich im Vergleich zu anderen Prozessen in der Kältetechnik thermodynamisch darin, daß:

- die Wärmeabgabe des Kältemittels CO₂ transkritisch in einer isobar nichtisothermen Zustandsänderung gegenüber isobar isotherm im klassischen Kaltdampfprozeß mit R134a, R290 usw. als Kältemittel erfolgt und
- die Wärmeabgabe im Vergleich zur Kryotechnik, einem Spezialgebiet der Kältetechnik, in unmittelbarer Nähe des kritischen Punktes stattfindet.

In der Schrift WO 90/07683 wird der transkritische Prozeß mit einer nichtisotherm isobaren Wärmeabgabe ohne Kondensation beschrieben. Dieser transkritische Prozeß ist in **Fig. 4** im T-s-Diagramm dargestellt.

Der thermodynamische Prozeß setzt sich aus der Verdichtung (a-b), der transkritischen Wärmeabgabe (b-c), der isenthalpen Entspannung (c-g) und der Verdampfung (g-a) zusammen.

Die Entspannung des Kältemittels ist speziell im Zweiphasengebiet mit hohen thermodynamischen Verlusten verbunden. Daraus resultieren energetische Nachteile im Vergleich zum klassischen Kaltdampfprozeß. Charakteristisch dafür sind Anwendungen in denen die Austrittstemperatur aus dem Hochdruckwärmeübertrager 20-45°C beträgt.

Um eine energetisch mit dem klassischen Kaltdampfprozeß vergleichbare Effizienz zu erreichen ist es notwendig, das Kältemittel CO₂ arbeitsleistend zu entspannen.

Der Einsatz von CO₂ ist nur in solchen Anwendungen energetisch sinnvoll und vorteilhaft, in denen eine tiefe Austrittstemperatur aus dem Hochdruckwärmeübertrager von 10-15°C erreicht wird.

Um diese Schwierigkeiten zu überwinden, wurde von Ludwig Horst in "Verbesserte CO₂-Expansions-Kältemaschine" in der Zeitschrift für Sauerstoff- und Stickstoffindustrie 12 (1911) ein thermodynamischer Prozeß vorgeschlagen, der die gesamte Verdichtung und Entspannung in einem Zylinder realisiert. Bei dieser kombinierten Verdichter - Expansionsmaschine handelt es sich um einen doppelt wirkenden Kolben der mittels Pleuelstange an ein System zur Energiezwischenspeicherung (Schwungscheibe) verbunden ist.

Die Schwungscheibe wird zum einen durch einen Elektromotor und zum anderen durch die gewonnene Expansionsarbeit angetrieben.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, bei einem transkritischen Prozeß für die Kälte-, Klima- und Wärmepumpentechnik die Kälte- bzw. die Heizleistung zu erhöhen.

Eine erfindungsgemäße Lösung dieser Aufgabe ist in den selbständigen Patentansprüchen angegeben, Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der zugehörigen Unteransprüche.

Die Erfindung besteht in einer Kolbenexpansionsmaschine, die als Freikolbenmaschine ausgeführt ist und in einem transkritischen Linksprozeß mit beispielsweise dem Kältemittel Kohlendioxid eingesetzt wird, wobei die arbeitsleistende Entspannung mit der Kompression des Kältemittels gekoppelt ist. Die Bewegung der Kolben resultieren allein aus den Druck-Flächenverhältnissen der Arbeitsräume. Es wird kein Energiespeichersystem verwendet und die Expansion des Kältemittels wird nur unvollständig ausgeführt.

Die Maschine besteht aus zwei doppelt wirkenden Kolben, welche mittels einer Kolbenstange miteinander verbunden sind. Es entstehen vier Arbeitsräume in zwei Zylinder, die in zwei Kompressions- bzw. Expansionsräume aufgeteilt werden. Jeder Kolben teilt einen Zylinder in einen Expansions- und einen Kompressionsraum.

Die Kolbenexpansionsmaschine wird in einem transkritischen Kälte-, Klima- oder Wärmepumpenprozeß eingebunden.

Die Verwendung einer Kolbenexpansionsmaschine stellt eine Möglichkeit dar, die energetischen Nachteile des Kältemittels Kohlendioxids wettzumachen. Der Prozeß wird zweistufig durchgeführt. Der Effekt der energetischen Verbesserung setzt sich dabei aus der Einsparung von Verdichtungsarbeit in der elektrisch angetriebenen Verdichtungsstufe und dem Zuwachs an spezifischer Kälteleistung bei isentroper Entspannung zusammen.

Ein weiterer Vorteil der Erfindung ist die Einsetzbarkeit des Prozesses für verschiedene Kältemittel wie R23, R116 und R744. Vorteilhaft ist ebenfalls die einfache technische Realisierung des Prinzips.

Weitere Einzelheiten, Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen mit Bezugnahme auf die zugehörigen Zeichnungen. Es zeigen:

Fig. 1: Kolbenexpansionsmaschine für einen transkritischen Prozeß

Fig. 2: Fließbild eines transkritischen Prozesses mit Kolbenexpansionsmaschine

Fig. 3: Darstellung des transkritischen Prozesses mit Kolbenexpansionsmaschine im Temperatur - Entropie - Diagramm

Fig. 4: Darstellung eines allgemeinen transkritischen Prozesses im Temperatur - Entropie - Diagramm.

Die Schnittdarstellung einer Kolbenexpansionsmaschine ist in **Fig. 1** zu sehen. Die Maschine besteht aus zwei geometrisch gleichen Zylinder **1** und **2** mit jeweils einem Kolben **16** und **17**. Die Kolben **16** und **17** sind durch eine Pleuelstange **7** miteinander verbunden. Jeder Zylinder wird durch den Kolben in zwei Volumina unterteilt. Das Volumen des Zylinders **1** wird durch den Kolben **16** in den Arbeitsraum **3** und **4** geteilt. Der Kolben **17** teilt den Zylinder **2** in die Arbeitsräume **5** und **6**.

Die Arbeitsräume **3** bis **6** sind jeweils mit Ventilen **8** - **15** zum Einlaß und Auslaß von Kältemittel aus den Arbeitsräumen versehen.

Die Arbeitszyklen in den verschiedenen Arbeitsräumen sind gleich, jedoch zeitlich verschoben.

Ein Arbeitshub der mechanisch durch die Kolbenstange 7 gekoppelten Kolben 16 und 17 wird im folgenden beschrieben. Dabei wird davon ausgegangen, daß sich die Kolben in der linken Totpunktlage befinden.

Arbeitsraum 3: Es wird Kältemittel mit Zwischendruck B angesaugt. Das Ventil 8 arbeitet selbsttätig in Abhängigkeit vom Druck.

Arbeitsraum 4: Das Kältemittel wird durch das Öffnen des Ventils 14 von Hochdruck A auf Niederdruck C entspannt und strömt aus dem Arbeitsraum 4 aus.

Arbeitsraum 5: Das Ventil 13 wird geöffnet und in den Arbeitsraum 5 strömt Kältemittel mit Hochdruck A ein.

Arbeitsraum 6: Das vom vorhergehenden Arbeitsgang angesaugte Kältemittel mit Zwischendruck B wird in diesem Arbeitsraum auf Hochdruck A verdichtet und ausgeschoben. Das Ventil 12 arbeitet selbsttätig in Abhängigkeit vom Hochdruck A.

Jetzt sind die Kolben 16 und 17 in der rechten Totpunktlage angekommen und die korrespondierenden Arbeitsräume 3 und 6 sowie 4 und 5 wechseln ihre Funktion.

Eine weitere vorteilhafte Verfahrensführung liegt darin, daß die Arbeitsräume 4 und 5 für die Verdichtung und die Arbeitsräume 3 und 6 für die Expansion genutzt werden.

In Fig. 2 ist der realisierte transkritische Prozeß im Schaltbild und in Fig. 3 im T,s-Diagramm dargestellt.

Der Verdichter 18 leistet den Hauptteil der Verdichtungsarbeit und verdichtet das Kältemittel auf einen Zwischendruck B. Im T,s-Diagramm in Fig. 3 dargestellt zwischen den Punkten a und b. Das Kältemittel wird im Anschluß im Hochdruckwärmeübertrager 19 von b nach c zurück gekühlt, bevor es in die Kolbenexpansionsmaschine 20 eintritt und von c nach d auf Hochdruck A verdichtet wird. Im Anschluß daran wird das Kältemittel wiederum in einem Hochdruckwärmeübertrager 21 von d nach e zurück gekühlt und tritt dann in die Kolbenexpansionsmaschine 20 ein, wo es durch arbeitleistende Entspannung zwischen e und f auf Niederdruck C entspannt wird. Die dabei gewonnene Arbeit wird zur Realisierung der Verdichtung des Kältemittels vom Zwischendruck B auf Hochdruck A benötigt. Der Kreislauf schließt sich durch Verdampfung des Kältemittels zwischen f und a im Verdampfer 22.

Die Kolben führen allein resultierend aus dem Kräfteverhältnis von Druck und Kolbenfläche ($F=p \cdot A$) eine translatorische Bewegung aus. Die Anordnung der Arbeitsräume, ob Expansion in den Arbeitsräumen 3 und 5 und Verdichtung in den Arbeitsräumen 4 und 6 oder umgekehrt, erfolgt dabei nach dem notwendigen Saugvolumen der Verdichtung bzw. dem Saug- und dem eventuell zusätzlich notwendigen Expansionsvolumen der Expansion. Die Ventile der Expansionsseite werden gesteuert. Die Ventile der Verdichtungsseite arbeiten selbsttätig.

Auf Grund des resultierenden Kräfteverhältnisses ist es notwendig, die Expansion unvollständig durchzuführen bzw. auf die nach dem Füllen des Saugvolumens sich anschließende Volumenänderungsarbeit zu verzichten (Volldruckmaschine). Das bedeutet, das nach dem Füllen der Expansionsarbeitsraumes sofort das Ventil zur Niederdruckseite geöffnet wird. Eine vollständige Expansion ist energetisch sinnvoller, jedoch kann sie aber nur mit einem arbeitsspeichernden System, wie z. B. einer Schwungsscheibe in einer Kolbenmaschine mit Triebwerk realisiert werden.

Bezugszeichenliste

- 1 Zylinder
- 2 Zylinder
- 3 Arbeitsraum
- 4 Arbeitsraum

- 5 Arbeitsraum
- 6 Arbeitsraum
- 7 Kolbenstange
- 8 Ventil
- 9 Ventil
- 10 Ventil
- 11 Ventil
- 12 Ventil
- 13 Ventil
- 14 Ventil
- 15 Ventil
- 16 Kolben
- 17 Kolben
- 18 Verdichter
- 19 Hochdruckwärmeübertrager
- 20 Kolbenexpansionsmaschine
- 21 Hochdruckwärmeübertrager
- 22 Verdampfer
- a Zustandspunkt nach der Verdampfung und vor der Verdichtung
- b Zustandspunkt nach der Verdichtung und vor der Zwischenkühlung
- c Zustandspunkt nach der Zwischenkühlung und vor der Verdichtung
- d Zustandspunkt nach der Verdichtung und vor der Kühlung
- e Zustandspunkt nach der Kühlung und vor der Entspannung
- f Zustandspunkt nach der Entspannung und vor der Verdampfung
- A Isobare Hochdruck
- B Isobare Zwischendruck
- C Isobare Niederdruck

Patentansprüche

1. Kolbenexpansionsmaschine nach dem Freikolbenprinzip für einen transkritischen Prozeß mit zweistufiger Verdichtung und arbeitstestender Expansion des Kältemittels, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Kolbenexpansionsmaschine aus zwei Zylindern (1, 2) und zwei durch eine Kolbenstange (7) mechanisch gekoppelten Kolben (16, 17) und Ventilen (8-15) besteht, wobei die Kolben (16, 17) die Zylinder (1, 2) in vier Arbeitsräume (3, 4, 5, 6) unterteilen.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die zwei Zylinder (1, 2) und die beiden Kolben (16, 17) jeweils die gleichen Abmessungen besitzen.
3. Verfahren zur Einbindung einer Kolbenexpansionsmaschine nach Anspruch 1 in einen transkritischen Prozeß, dadurch gekennzeichnet, daß in der Kolbenexpansionsmaschine gleichzeitig Kältemittel verdichtet und arbeitstestend entspannt wird, wobei die Expansion unvollständig durchgeführt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß innerhalb einer Kolbenbewegung im Arbeitsraum (3) das Kältemittel mit Zwischendruck B angesaugt und im Arbeitsraum (6) vom Zwischendruck B auf Hochdruck A verdichtet und ausgeschoben wird, wobei gleichzeitig im Arbeitsraum (5) Kältemittel mit Hochdruck A einströmt und aus dem Arbeitsraum (4) Kältemittel ausströmt.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß für die nach Anspruch 4 entgegengesetzte Kolbenbewegung die Arbeitsräume (3, 6) sowie die Arbeitsräume (4, 5) ihre Funktionen vertauschen.
6. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß im Arbeitsraum (4) die Verdichtung des Kälte-

mittels stattfindet und im Arbeitsraum (5) Kältemittel mit Zwischendruck angesaugt wird und im Arbeitsraum (3) das Kältemittel mit Hochdruck einströmt, während im Arbeitsraum (6) das Kältemittel ausgeschoben wird.

5

7. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß als Kältemittel R744, R23 oder R116 eingesetzt wird.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

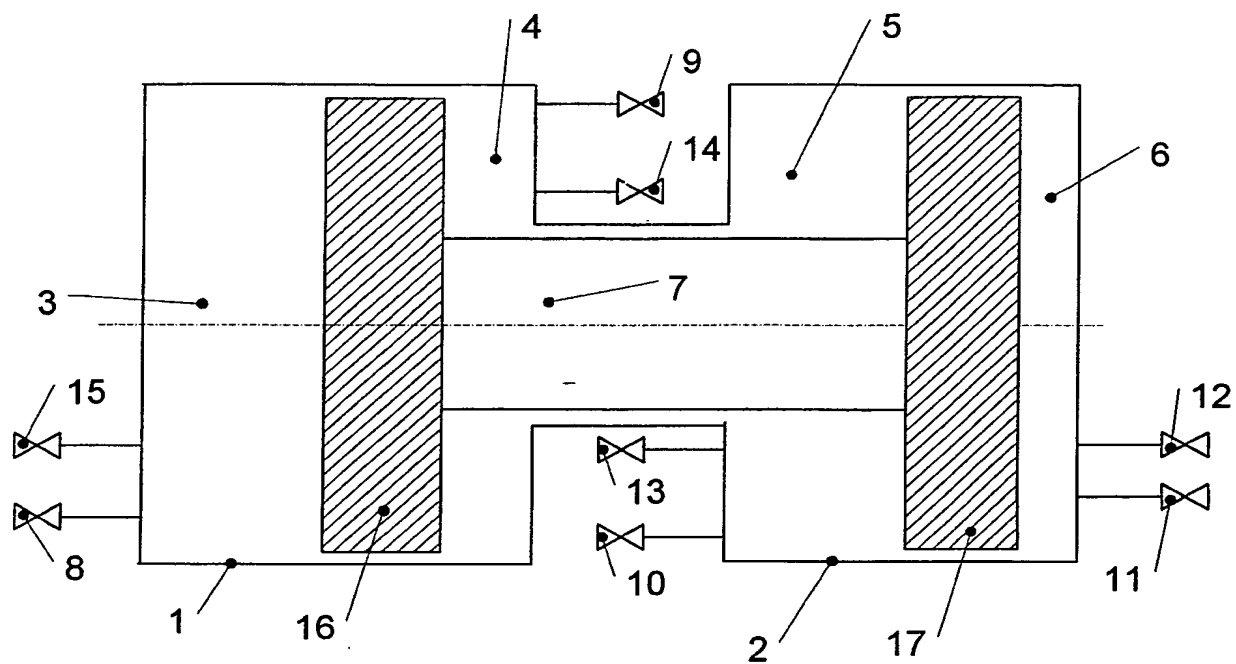


Fig. 1

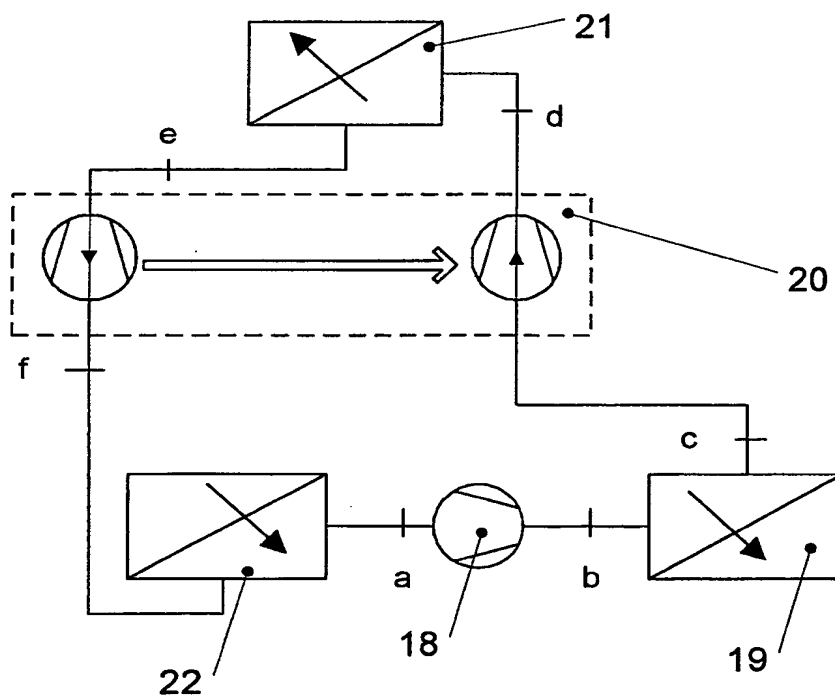


Fig. 2

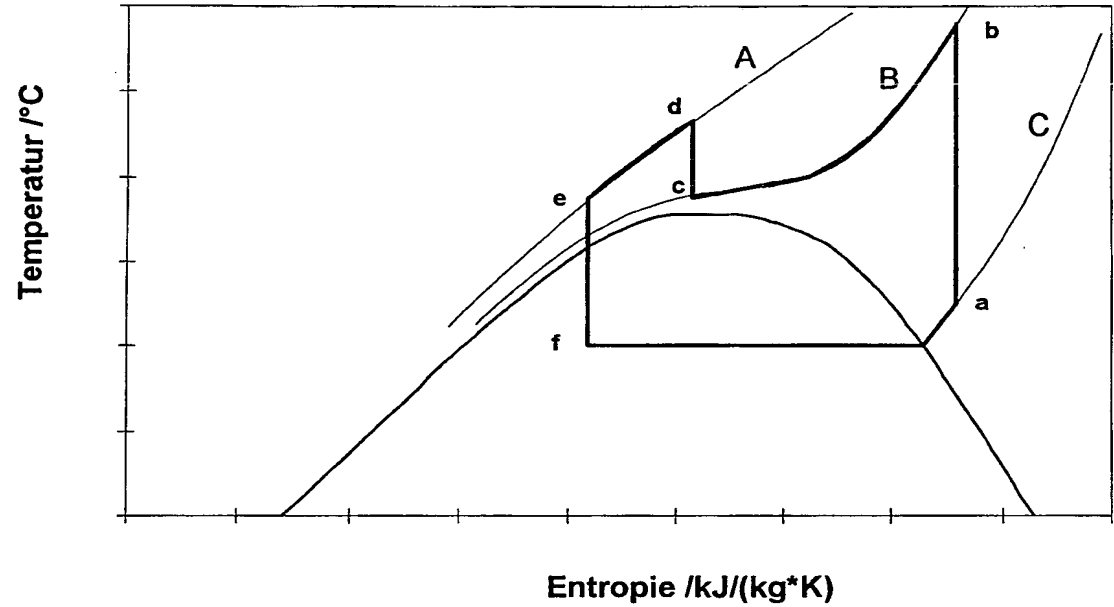


Fig. 3

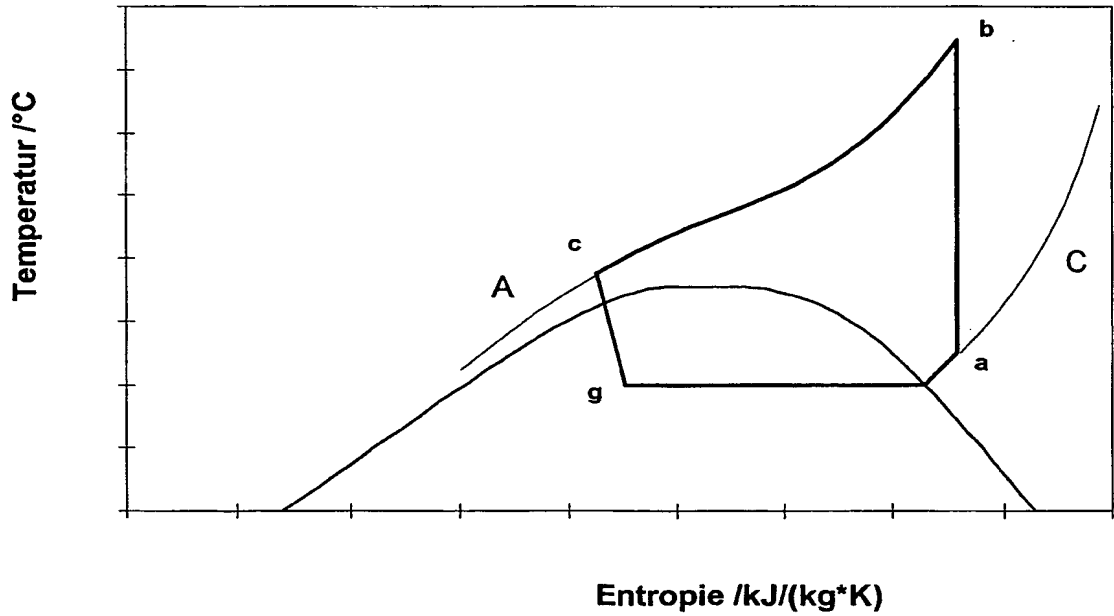


Fig. 4